

Aplikasi Mikrokontroller Pada Pembangkit Pulsa Tegangan Tinggi dengan Pengaturan Waktu Pengolahan Untuk Pasteurisasi Sari Buah Apel

Ratna Ika Putri
Politeknik Negeri Malang
ikaputri_ratna@yahoo.com

Ika Noer Syamsiana
Politeknik Negeri Malang
ikanoers@yahoo.com

La Choviya Hawa
Universitas Brawijaya
el-c-ha@yahoo.com

Diah Meilany
Politeknik Negeri Malang
diahmeilany@yahoo.com

Abstrak

Saat ini pasteurisasi sari buah apel menggunakan metode termal dengan menggunakan pemanasan antara 60°C-100°C yang dapat menyebabkan kehilangan vitamin, nutrisi esensial perubahan warna, rasa dan bau. Pulse electric field (PEF) merupakan metode pengolahan pangan non termal dengan memberikan kejutan listrik berupa pulsa tegangan tinggi ke bahan makanan melalui elektroda yang ditempatkan pada chamber selama beberapa detik pada suhu kamar. Tujuan makalah ini adalah mendesain pembangkit pulsa tegangan tinggi dengan menggunakan high voltage transformator pada pasteurisasi sari buah apel berbasis pulse electric field (PEF) dengan pengaturan waktu pengolahan serta menganalisis kebutuhan energi spesifik masukan selama proses dan perubahan jumlah mikroba yang terkandung dalam sari buah apel hasil pasteurisasi dengan variasi waktu pengolahan. Berdasarkan hasil simulasi dengan simulasi menggunakan multisim 8 didapatkan bentuk gelombang pembangkit tegangan tinggi berbentuk pulsa dan hasil pengukuran menunjukkan tegangan dan arus rata-rata yang dihasilkan rangkaian sebesar 17kV dan 0,48mA. Kuat medan listrik yang dikirim ke chamber sebesar 0,65kV/cm. Semakin lama waktu pengolahan PEF maka total mikroba yang dikandung juga semakin turun tetapi energi spesifik masukan yang dibutuhkan akan meningkat. Penurunan total mikroba terbesar pada waktu pengolahan 60 detik sebesar 93,53% yang membutuhkan energi spesifik sebesar 175KJ/l.

Kata kunci: PEF (pulse electric field), pasteurisasi, energi

1. Pendahuluan

Apel memiliki kandungan gizi yang sangat tinggi, namun sifat dari apel yang mudah busuk dan rusak sehingga diperlukan pengolahan apel. Salah satu produk olahan buah apel ini yaitu sari buah apel. Agar sari buah apel ini dapat bertahan lama maka diperlukan pengawetan dengan menginaktifkan enzim dan menekan jumlah mikroorganisme di dalam sari buah [10].

Pengawetan sari buah apel saat ini menggunakan pasteurisasi thermal dengan memanaskan sari buah pada suhu 76°C –

87.7°C. Pasteurisasi thermal menyebabkan perubahan kimia dan nutrisi yang dikandung sari buah sehingga akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan [5]. Saat ini telah dikembangkan pengawetan sari buah dengan menggunakan *Pulse Electric Field* (PEF), yang merupakan teknologi pengolahan pangan dengan menggunakan pulsa tegangan tinggi. Penggunaan pulsa tegangan tinggi memiliki beberapa keunggulan yaitu dapat menginaktifkan mikroorganisme dan enzim hanya dengan suhu rendah dan nutrisi produk tetap terjaga sehingga kualitasnya lebih bergizi, aman dan segar dengan waktu proses yang lebih

singkat sehingga rugi-rugi energi akibat pemanasan dapat dikurangi [1]. Rusaknya membran sel mikroorganisme dan bakteri terjadi jika diberikan tegangan tinggi yang lebih besar dari 25 KV dengan lama pulsa 100 – 200 ns. Dengan keunggulan yang dimiliki teknologi pengawetan PEF, PEF sangat dibutuhkan pada industri pengolahan pangan masa depan [15].

Untuk menghasilkan pulsa tegangan tinggi diperlukan rangkaian pembangkit tegangan tinggi. Sumber PEF dapat dihasilkan melalui rangkaian quasi resonant flyback konverter, yang memiliki keunggulan yaitu dapat menghasilkan frekuensi pulsa yang lebih besar, sehingga waktu pengolahan yang lebih singkat dengan rangkaian yang lebih efektif dan sederhana[3]. Untuk meningkatkan efektifitas teknologi PEF diperlukan desain rangkaian pembangkit pulsa tegangan tinggi yang memiliki efektifitas tinggi, hemat energi dan fleksibel untuk pasteurisasi sari buah apel. Dari hasil penelitian ini diharapkan didapatkan suatu pembangkit pulsa tegangan tinggi untuk PEF dengan pengaturan tegangan dan waktu proses sehingga didapatkan kualitas sari buah apel yang sesuai standar nasional Indonesia dan memiliki efisiensi energi yang tinggi.

2. Metode

Metode yang digunakan terdiri dari beberapa tahap yaitu perancangan pembangkit pulsa tegangan tinggi, pemodelan chamber, simulasi rangkaian, pembuatan rangkaian pembangkit pulsa tegangan tinggi, pengujian rangkaian dan pasteurisasi sari apel dengan rangkaian pembangkit pulsa tegangan tinggi 20kV dengan variasi waktu pengolahan.

2.1 Perancangan Pembangkit Pulsa Tegangan Tinggi dan prototipe chamber

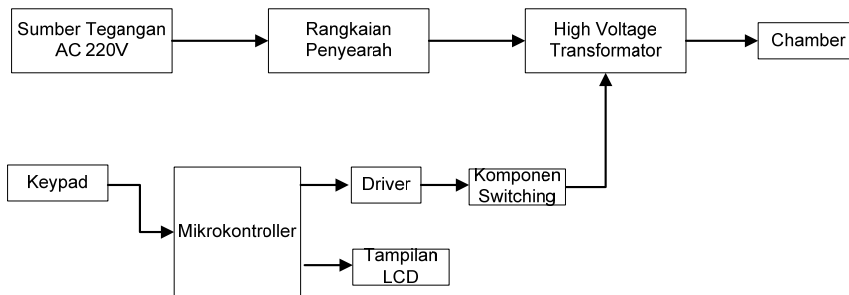
Perancangan pembangkit pulsa tegangan tinggi dan prototipe chamber terdiri dari dua tahapan yaitu perancangan rangkaian pembangkit pulsa tegangan tinggi dengan

tegangan keluaran 20KV dengan pengaturan waktu pengolahan dan perancangan prototipe chamber (wadah pengolahan) pasteurisasi.

Rangkaian pembangkit pulsa tegangan tinggi terdiri dari rangkaian penyearah (*rectifier*), keypad, mikrokontroler, komponen switching dan *high voltage* transformator dan tampilan LCD. Blok diagram rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Spesifikasi rangkaian pembangkit pulsa tegangan tinggi yang akan dirancang adalah:

1. Pulsa tegangan tinggi yang dihasilkan maksimal sebesar 20KV
2. Frekuensi pulsa tegangan tinggi dibuat konstan.
3. Lama waktu pengolahan dapat diatur melalui keypad dalam orde detik maksimal hingga 90 detik dengan kenaikan setiap 10 detik.
4. Daya tampung sari buah apel yang dapat di pasteurisasi sebesar 1 liter.
5. *chamber* berbentuk tabung.

Dalam sistem PEF ini, mikrokontroler berfungsi sebagai pengatur lama waktu pengolahan dan menghasilkan pulsa yang digunakan untuk menggerakkan komponen switching. Pulsa yang dihasilkan pada mikrokontroler menggunakan metode *Pulse Width Modulation* (PWM). Waktu pengolahan dapat di seting melalui keypad dan ditampilkan pada LCD (*Liquid Crystal Display*). Driver menerima pulsa yang dihasilkan oleh mikrokontroler dan digunakan untuk menggerakkan komponen switching. Komponen switching menggunakan transistor daya dan trafo OT yang berfungsi sebagai saklar penghubung antara HV transformator dan mikrokontroler sebagai pengontrol. HV transformator merupakan step-up trafo yang berfungsi untuk menaikkan tegangan 80 V dari rangkaian penyearah menjadi 20KV. Tegangan keluaran HV trafo berupa pulsa tegangan tinggi yang tergantung pada pulsa keluaran yang dilewatkan melalui rangkaian switching. Pulsa tegangan tinggi yang dihasilkan dihubungkan pada dua elektroda yang diletakkan pada *chamber* yang dibuat.



Gambar 1 Blok Diagram Pembangkit Pulsa Tegangan Tinggi

Bahan baku *treatment chamber* adalah plat stainless steel setebal 4 mm. Bentuk *treatment chamber* berupa silinder berkaki empat yang dilengkapi dengan kran pengeluaran dan tutup pada bagian atas. *Treatment chamber* yang telah dibuat berdimensi tinggi 45 cm dan diameter 7 cm. Kran pengeluaran terbuat dari stainless steel dengan diameter 1.25 cm. *Treatment chamber* mampu menampung sari buah apel hingga 1.5 liter.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan [12], *chamber* dapat dimodelkan sebagai kombinasi paralel kapasitor dan resistor. Jika berbentuk tabung dapat dinyatakan dengan persamaan.

$$R = \frac{\ln(R_{LV} / R_{HV})}{2\pi\sigma l} \quad (1)$$

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln(R_{LV} / R_{HV})} l \quad (2)$$

Dimana l = panjang elektroda, δ = konduktivitas makanan, R_{LV} = diameter elektroda tegangan rendah, R_{HV} = diameter elektroda tegangan tinggi dan ϵ_r = permitivitas relative makanan, $\epsilon_0 = 8,8 \times 10^{-12}$ F/m. Konduktivitas sari buah apel sebesar 0,07 sedangkan permitivitas sari buah apel tergantung pada suhu sari buah tersebut. Pada penelitian ini dirancang sari buah apel sebesar 20°C sehingga permitivitas sari buah apel sebesar 75. Sehingga hasil perhitungan nilai resistor dan kapasitor sebesar 0,22 Ω dan 0,44 nF.

2.2 Simulasi Pembangkit Tegangan Tinggi

Berdasarkan hasil perancangan rangkaian pembangkit pulsa tegangan tinggi dan

pemodelan *chamber* kemudian akan disimulasikan. Simulasi menggunakan perangkat lunak Multisim 8. Simulasi rangkaian pembangkit pulsa tegangan tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

2.3 Desain Pembangkit Pulsa Tegangan Tinggi

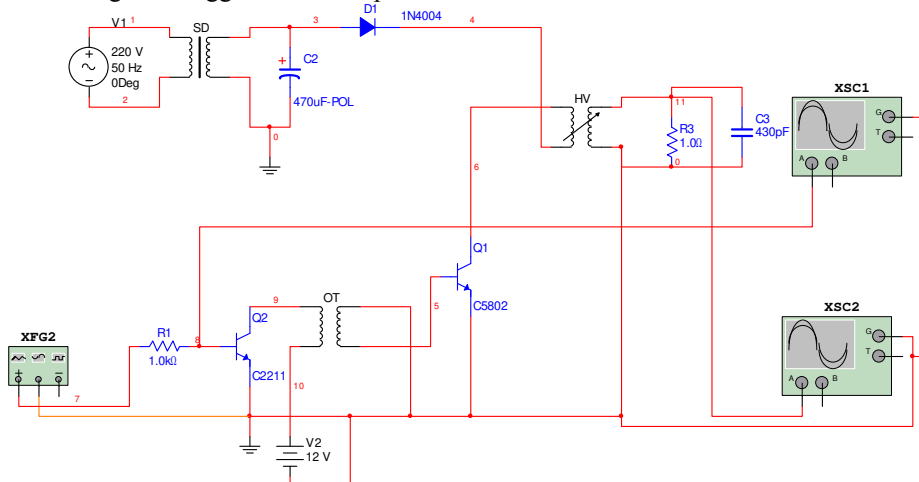
Gambar 3 menunjukkan skematik rangkaian pembangkit pulsa tegangan tinggi. Untuk menghasilkan pulsa tegangan tinggi menggunakan mikrokontroler dan trafo tegangan tinggi. Mikrokontroler menggunakan IC 8535 yang digunakan sebagai control untuk peralatan PEF. Mikrokontroler deprogram menggunakan bahasa pemrograman BASCOM. Frekuensi pada mikrokontroler dibuat fix dan pulsa yang dihasilkan memiliki duty cycle 50%. Trafo OT berfungsi sebagai isolator antara trafo tegangan tinggi dengan rangkaian mikrokontroler.

2.4 Pengujian Pasteurisasi Sari Apel

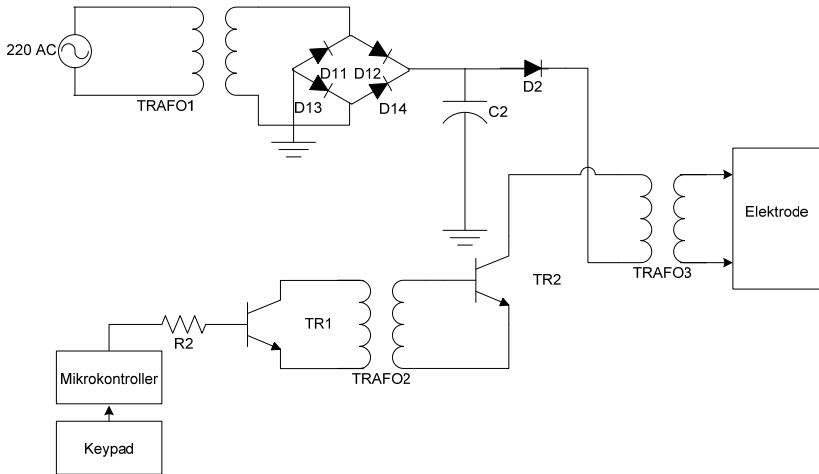
Pengujian pasteurisasi sari buah apel dilakukan untuk menguji efektifitas pembangkit pulsa tegangan tinggi, yang terdiri dari pengujian energi masukan spesifik pada proses pasteurisasi dengan PEF dan pengujian total mikroba pada sari buah apel hasil pasteurisasi. Pembangkit pulsa tegangan tinggi dihubungkan pada elektroda yang diletakkan pada *chamber*. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan waktu pengolahan dalam 6 tahap yaitu 10 detik, 20 detik, 30 detik, 40 detik, 50 detik dan 60 detik. Untuk setiap waktu pengolahan akan diambil sampel yang kemudian akan dihitung jumlah mikroba

yang terkandung dalam sari buah apel hasil pengolahan dengan PEF. Pengukuran tegangan dan arus yang melalui chamber dilakukan dengan menggunakan HV probe

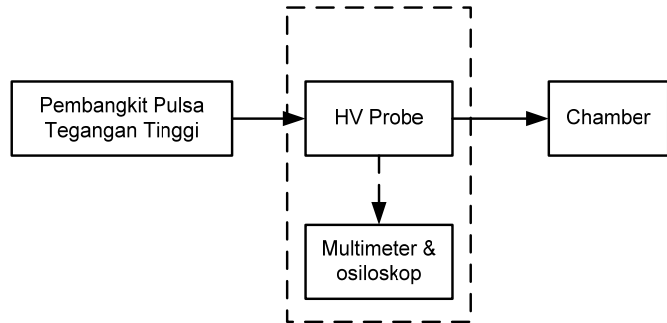
40kV, multimeter digital sanwa dan osiloskop GW Instek. Blok diagram pengukuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 2 Simulasi Rangkaian Pembangkit Pulsa Tegangan Tinggi Untuk PEF



Gambar 3 Rangkaian Skematik Pembangkit Pulsa Tegangan Tinggi



Gambar 4 Blok Diagram Pengukuran Peralatan

3. Hasil

3.1 Simulasi Pembangkit Pulsa Tegangan Tinggi

Simulasi dilakukan berdasarkan hasil perancangan rangkaian pembangkit pulsa tegangan tinggi dan pemodelan *chamber* seperti yang telah di kemukakan di atas dengan menggunakan perangkat lunak Multisim 8. Simulasi rangkaian tersebut terdiri dari simulasi rangkaian driver dan switching dan simulasi rangkaian keseluruhan.

Tegangan keluaran mikrokontroler berbentuk pulsa dengan besarnya tegangan keluaran pada waktu on sebesar 5V, pada simulasi ini menggunakan *function generator* yang dapat menghasilkan sinyal yang sama dengan yang dihasilkan rangkian mikrokontroler. *Function Generator* (GF) telah disediakan pada Multisim 8, parameter yang akan dikeluarkan diatur dengan menseting GF, sinyal keluaran berupa tegangan pulsa dengan duty cycle 50%.

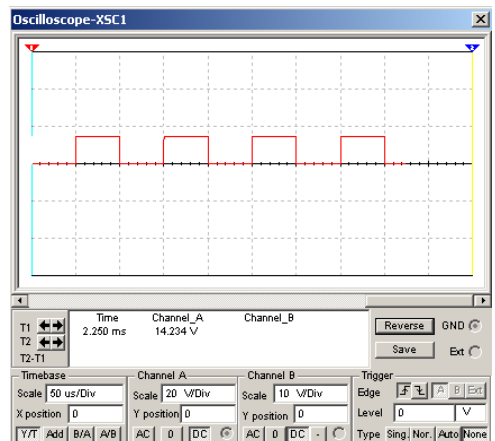
Berdasarkan simulasi rangkaian driver dan switching yang dilakukan dengan menggunakan Multisim 8, dapat diamati tegangan keluaran yang dihasilkan. Tegangan masukan rangkaian driver dan switching berasal dari keluaran mikrokontroler yang pada simulasi ini menggunakan pembangkit sinyal (*Fuction Generator*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, sedangkan tegangan keluaran rangkaian driver dan switching ditunjukkan pada Gambar 6.

Tegangan keluaran PWM diamati dengan menggunakan osiloskop yang dihubungkan dengan channel A dengan osiloskop. Keluaran PWM menghasilkan tegangan pulsa kotak dengan duty cycle 50% yaitu setengah periode pulsa aktif menghasilkan tegangan keluaran sebesar 5 V sedangkan setengah pulsa periode yang lain menghasilkan tegangan keluaran sekitar 0,5V. Tegangan keluaran 5V menyatakan mikrokontroler menghasilkan kondisi high sedangkan 0,5V mikrokontroler dalam

kondisi low. Sedangkan tegangan keluaran rangkaian driver dan switching menghasilkan sinyal pulsa yang sama dengan PWM hanya pada saat pulsa aktif menghasilkan tegangan sebesar 14, 234V dan pada saat kondisi off menghasilkan tegangan keluaran 0V.



Gambar 5 Tegangan Keluaran PWM

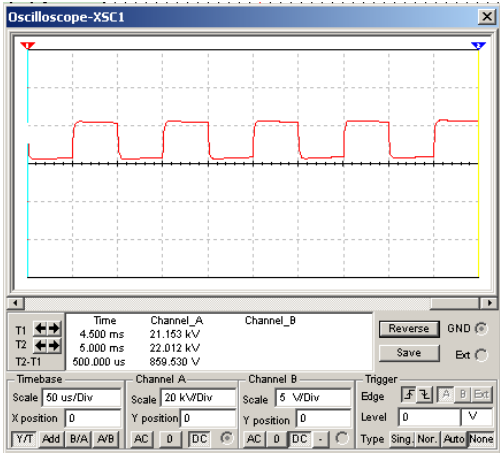


Gambar 6 Tegangan Keluaran Simulasi Rangkaian Driver

Simulasi rangkaian pembangkit pulsa tegangan tinggi terdiri dari rangkaian driver switching dan rangkaian HV trafo. Rangkaian ini merupakan rangkaian keseluruhan. Tegangan keluaran driver dan switching menjadi masukan pada HV trafo. Lilitan primer HV trafo terhubung dengan tegangan keluaran step down trafo dan keluaran driver dan switching. Tegangan keluaran HV trafo dihubungkan dengan

chamber melalui elektrode. Elektrode dan chamber telah dimodelkan dengan menggunakan kombinasi paralel kapasitor dan resistor. Nilai kapasitor dan resistor sebagai model dari chamber telah ditentukan melalui pemodelan chamber yaitu sebesar 0,2 ohm dan 0,44 nF, memiliki nilai yang sama dengan resistansi dan kapasitor yang diukur secara langsung pada chamber yang berisi sari buah apel. Resistansi dan kapasitansi chamber diukur dengan menggunakan multimeter Sanwa XY-TR430 dan RLC meter. Berdasarkan hasil pengukuran secara langsung didapatkan nilai resistansi chamber sebesar $0,2\Omega$ dan nilai kapasitansi sebesar 0,4nF.

Sedangkan hasil simulasi untuk pembangkit pulsa tegangan tinggi dengan chamber untuk pasteurisasi sari buah apel ditunjukkan pada Gambar 7. Keluaran tegangan dari transformator tegangan tinggi sebesar 21,153 kV dengan sinyal berbentuk kotak. Sinyal yang dihasilkan pembangkit pulsa tegangan tinggi sudah sesuai dengan perencanaan.



Gambar 7 Tegangan Keluaran Simulasi Transformator High Voltage 20 kV

3.2 Pasteurisasi sari buah apel

Selama proses pasteurisasi sari apel dilakukan pengukuran terhadap tegangan dan arus selama proses berlangsung. Pasteurisasi dilakukan dalam 6 variasi waktu pengolahan dan 6 sampel yang diperoleh dari 6 perlakuan tersebut di hitung

kandungan total mikroba. Pengukuran tegangan dan arus rata-rata selama proses sebesar 17kV dan 0,48mA dengan tegangan pucak 24kV. Sedangkan kuat medan listrik yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan

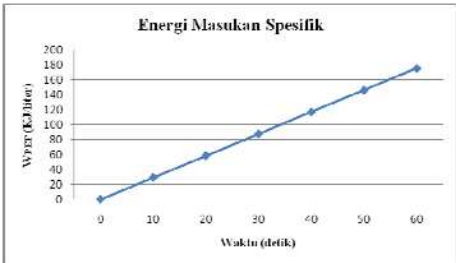
$$E_f = \frac{V_o}{r \ln(Rlv / Rhv)} \quad Rhv \leq r \leq Rlv \quad (3)$$

Dengan V_o adalah tegangan rata-rata yang melalui chamber. Diameter dalam chamber yang diperoleh dari pengurangan diameter luar chamber dikurangi ketebalan kedua sisi elektroda maka didapatkan nilai $r = 6.2\text{cm}$ serta diameter Rhv merupakan diameter tegangan tinggi sebesar 0.001cm dan Rlv merupakan diameter elektrode tegangan rendah yang dijadikan satu pada chamber sebesar 0.07cm, sehingga diperoleh kuat medan setiap luasan chamber untuk setiap centimeter sebesar 0.65kV/cm.

Merujuk Ribierio WM, dkk (2008) dalam menghitung energi masukan spesifik yang dibutuhkan selama proses dengan PEF menggunakan persamaan di bawah ini

$$W_{PEF} = \frac{U^2 xt}{R_c x V_c} \quad (4)$$

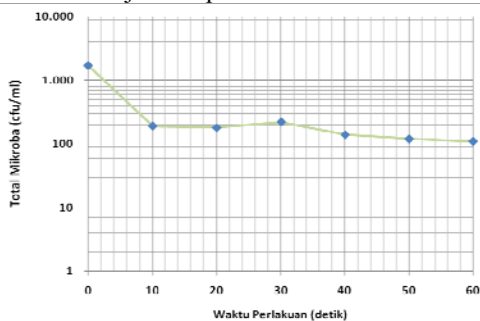
Dimana U (kV) merupakan tegangan puncak yang diberikan selama proses PEF, t (s) merupakan waktu total proses (jumlah pulsa x lebar pulsa) sedangkan R_c (Ω) dan V_c (cm^3) merupakan resistansi dan volume dari chamber. Dengan resistansi R_c sebesar 0.22Ω dan volume sari buah apel dalam chamber (V_c) sebesar 0.9 liter didapatkan grafik hubungan antara energi masukan spesifik terhadap waktu perlakuan seperti yang terlihat pada Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8 Grafik Energi Masukan Spesifik Terhadap Waktu Perlakuan

Energi spesifik masukan terkecil pada waktu perlakuan 10 detik yaitu sebesar 29.19KJ/l. Energi spesifik masukan terbesar yang diberikan ke chamber pada saat waktu perlakuan 60 detik yaitu sebesar 175.15KJ/l, hal ini menunjukkan untuk setiap satu liter sari apel yang diolah dengan menggunakan PEF akan mendapat energi sebesar 175.15KJ.

Total mikroba sari apel sebelum pasteurisasi sebesar 1.7×10^3 cfu/ml. Total mikroba tersebut belum sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) dimana maksimum total mikroba yang terdapat dalam minuman sari buah adalah 2×10^2 cfu/ml. Total mikroba tertinggi setelah pasteurisasi pada perlakuan selama 10 detik yaitu sebesar 200 cfu/ml yang berarti mengalami penurunan 88,23%, sedangkan terendah pada perlakuan selama 60 detik sebesar 110 cfu/ml sehingga terjadi penurunan 93,53%. Pada lama perlakuan 20 detik total mikroba 180cfu/ml dengan penurunan 89,41%, sedangkan pada waktu 30 detik mengalami penurunan 87%, pada 40 detik mengalami penurunan 91,76% dan pada waktu pengolahan 50 detik mengalami penurunan total mikroba 92,65%. Grafik penurunan total mikroba terhadap perubahan waktu ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik Penurunan Total Mikroba terhadap Waktu Perlakuan

4. Diskusi

4.1 Rangkaian Pembangkit Tegangan Tinggi

Hasil simulasi menunjukkan rangkaian pembangkit pulsa tegangan tinggi dengan

beban chamber dapat menghasilkan sinyal pulsa dengan tegangan puncak 21,153kV. Terdapat enam langkah yang harus dilakukan untuk mensimulasi rangkaian pembangkit pulsa tegangan tinggi dengan Multisim 8 yaitu 1)menggambar skematik rangkaian, 2) menentukan tegangan sumber dan nilai komponen, 3)mengatur waktu simulasi,4)mengatur parameter simulasi,5) melakukan simulasi dan menganalisa hasil simulasi.

Sedangkan berdasarkan hasil pengujian peralatan yang telah dibuat, bentuk gelombang yang dihasilkan pada mikrokontroller berbentuk pulsa dengan frekuensi tetap dan dapat diatur waktu proses pemberian pulsa pada *chamber*. Berdasarkan hasil pengujian rangkaian mikrokontroller, LCD dan keypad telah bekerja sesuai dengan yang direncanakan. Mikrokontroller dan perangkat lunak yang tersimpan didalamnya dapat membaca waktu pengolahan yang disetting melalui keypad dan ditampilkan di LCD. Mikrokontroller dapat menghasilkan sinyal berbentuk pulsa kotak dengan waktu yang sesuai dengan waktu pengolahan.

Tegangan keluaran rangkaian diamati dengan osiloskop dengan tipe GW instek, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 hasil pengukuran tegangan keluaran mikrokontroller yang terhubung dengan rangkaian switching dan driver.



Gambar 10 Hasil Pengujian Sinyal Mikrokontroller yang terhubung dengan rangkaian switching dan driver

Frekuensi kerja mikrokontroller sebesar 22KHz, maka periode untuk setiap pulsa yang dihasilkan adalah 0,45 μ s dan jumlah pulsa yang dihasilkan rangkaian pembangkit

pulsa ini dalam satu detik sebesar $1/0,45 \mu s = 22000$ pulsa. Rangkaian pembangkit pulsa yang dihasilkan dapat diatur waktu pengolahan. Dengan waktu pengolahan selama 10 detik, maka jumlah pulsa yang diberikan ke chamber sebesar 220.000 pulsa. Semakin lama waktu pengolahan maka jumlah pulsa yang dikirim ke chamber juga akan semakin besar.



Gambar 11 Peralatan Pasteurisasi dengan PEF

Pengukuran pembangkit pulsa tegangan tinggi pada keluaran *high voltage* trafo yang dihubungkan dengan chamber didapatkan tegangan rata-rata sebesar 17kV dan arus rata-rata yang melalui chamber sebesar 0,48mA. Gambar 11 menunjukkan peralatan pasteurisasi dengan PEF.

4.2 Pasteurisasi Sari Buah Apel Dengan PEF

4.2.1 Total Mikroba

Dari Gambar 9 tampak bahwa dengan semakin lama waktu perlakuan pasteurisasi dengan PEF maka total mikroba yg ada dalam sari apel semakin berkurang. Total mikroba sari apel sesudah pasteurisasi secara umum sudah memenuhi standar SNI, dimana batas maksimum total mikroba yang diperbolehkan adalah 2×10^2 cfu/ml. Semakin lama waktu pengolahan penurunan total mikroba juga akan semakin besar. Penurunan mikroba terbesar terjadi pada waktu pengolahan 60 detik yaitu sebesar 93,53%.

4.2.2 Kuat Medan Listrik Dan Energi Spesifik Masukan

Kuat medan listrik ditentukan sebagai gaya per unit muatan, tegangan antara elektrode sebanding dengan muatan yang bergerak diantaranya. Sehingga medan listrik dalam gap chamber merupakan fungsi dari tegangan yang melalui chamber pengolahan dan konfigurasi.

Kuat medan listrik yang dihasilkan oleh rangkaian pembangkit pulsa tegangan tinggi tergantung pada pulsa tegangan tinggi yang diberikan dan ukuran chamber. Semakin besar tegangan tinggi yang diberikan maka kuat medan listrik yang dihasilkan juga akan semakin besar [12]. Kuat medan listrik yang diberikan pada pengolahan dengan PEF akan menentukan inaktivasi mikroba [9]. Pada pasteurisasi apel dengan kuat medan yang sangat rendah 0,3KV/cm penurunan mikroba akan baru akan terjadi bila jumlah pulsa atau waktu pengolahan yang diterapkan mencukupi [5]. Peningkatan tegangan dan waktu pengolahan akan meningkatkan jumlah pulsa dan kuat medan listrik. Dengan kuat medan listrik sebesar 30KV/cm yang diberikan untuk pasteurisasi sari apel dengan PEF dapat mengurangi 99,99% *S.Cervisiae* yang terdapat pada sari apel [10]. Semakin tinggi kuat medan listrik yang digunakan maka waktu pengolahan dapat dikurangi.

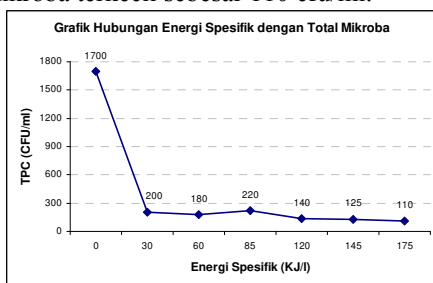
Semakin bertambahnya waktu perlakuan yang di berikan mengakibatkan semakin meningkatnya energi masukan spesifik yang di butuhkan. Energi masukan spesifik yang dibutuhkan sebanding dengan waktu perlakuan yang di berikan. Peningkatan total waktu pengolahan akan menyebabkan energi spesifik masukan yang lebih besar.

4.2.3 Hubungan Energi Masukan Spesifik Terhadap Total Mikroba

Peningkatan kuat medan listrik dan total waktu pengolahan akan menyebabkan total energi masukan spesifik akan semakin besar sehingga pengurangan total mikroba juga akan semakin besar [14]. Pada penelitian ini kuat medan listrik yang dihasilkan tetap karena tegangan yang diberikan juga tetap tetapi total waktu pengolahan dibuat

bervariasi mulai dari 10 detik hingga 60 detik. Semakin lama waktu pengolahan maka energi spesifik masukan juga semakin meningkat, hal ini juga diikuti dengan penurunan total mikroba yang dikandung sari buah apel hasil pasteurisasi. Hubungan energi spesifik masukan dengan kandungan total mikroba ditunjukkan pada Gambar 12.

Sari apel tanpa pasteurisasi tidak memiliki energi masukan spesifik dan kandungan total mikroba sebesar 1700 cfu/ml. Pada waktu pengolahan 10 detik, energi spesifik masukan yang dihasilkan sebesar 30KJ/l dengan total kandungan mikroba yang menurun secara drastis hingga mencapai 200 cfu/ml. Semakin lama waktu pengolahan energi spesifik semakin besar dan total kandungan mikroba semakin kecil. Waktu pengolahan terlama yaitu 60 detik menghasilkan energi spesifik masukan terbesar 175KJ/l dengan kandungan total mikroba terkecil sebesar 110 cfu/ml.



Gambar 12 Grafik Hubungan Energi Masukan Spesifik Terhadap Total Mikroba

5. Kesimpulan

1. Pemodelan Chamber berbentuk silinder yang digunakan dapat dimodelkan dengan rangkaian paralel resistor dan kapasitor dengan nilai 0.22Ω dan 0.44 nF
2. Rangkaian pembangkit pulsa tegangan tinggi yang didesain dapat bekerja dengan baik dengan tegangan tinggi rata-rata dihasilkan sebesar 17KV dan arus rata-rata yang dihasilkan 0.48 mA dengan kuat medan listrik yang dihasilkan rangkaian pembangkit pulsa tegangan tinggi sebesar 0.65 KV/cm .

3. Energi spesifik masukan yang dihasilkan tergantung pada tegangan tinggi yang diberikan, lama pengolahan dan ukuran chamber. Semakin lama waktu pengolahan energi spesifik yang dihasilkan juga akan semakin besar. Dengan lama waktu pengolahan dengan jangkauan 10 hingga 60 detik menghasilkan jangkauan energi spesifik masukan sebesar 29.19KJ/l hingga 175 KJ/l.
4. Pasteurisasi sari apel dengan menggunakan PEF dengan tegangan 20KV mampu membunuh mikroba. Semakin lama waktu pengolahan maka kandungan total mikroba hasil pasteurisasi semakin kecil dan sesuai dengan SNI yang harus berada dibawah 200 cfu/ml. Penurunan mikroba terbesar pada pasteurisasi dengan lama pengolahan 60 detik yaitu sebesar 93,53%.

6. Daftar Pustaka

- [1] Aguilar-Rossa, dkk. 2002. *Thermal and pulsed electric field pasteurization of apple juice: Effect on physicochemical properties and flavour compound*. Food and chemical programme, Autonomous university of Chihuahua. Lleida, Spain
- [2] Barbosa-Cánovas, G. V., Gongora-Nieto, M. M., Pothakamury, U. R., Swanson, B. G. 1999. *Preservation of foods with pulsed electric fields*. Academic Press Ltd. London.
- [3] Birbir Yasar. 2006. *Modification of a PEF Source That Produce Both Wide and Narrow Pulses*. Proceeding of the 6th WSEAS/IASME Int. Conf. On Electric Power System, High Voltages, Electric Machines, Tenerife, Spain.
- [4] De Haan SWH, Willcock PR. 2002. *Comparison of Energy Performance of Pulse Generation Circuits For PEF*. Innovative Food Science and Emerging Technologies 3: 349-356.

- [5] Geveke D. 2004. *RFEF Pilot Plan for Inactivation of Escherichia coli in Apple Juice*. Journal of Fruit Processing 14(3)
- [6] Gould, G.W. 1995. *New Methods Food Preservatives*. Chapman Hall. New York.
- [7] Heinz V, Toepfl S, Knorr D. 2003. *Impact of Temperature on Lethality and Energy Efficiency of Apple Juice Pasteurization by Pulsed Electric Field Treatment*. Innovative Food Science and Emerging Technologies 4:167-175
- [8] Jayaram, S., G.S.P. Castle, and A.Margaritis. 1992. *Kinetics of Sterilization of Lactobacillus Brevis Cells by The Application of High Voltage Pulses*. Biotechnology and Bioengineering 40: 1412 – 1420.
- [9] Jeyamkondan dkk. 1996. *Pulse Electric Field Processing of Foods: a Review*. Journal of Food Protection, 62.
- [10] Lee Hee Kyu. 2006. *Electrical Sterilization of Juice by Discharged HV Impulse Waveform*. American Journal of Applied Sciences 2 (10): 2076-2078.
- [11] Liang Ziwei, Cheng Z, Mittal GS. 2006. *Inactivation of Spoilage Microorganisms in Apple Cider Using a Continuous Flow Pulsed Electric Field System*. Journal of Food Sciences: 350-356
- [12] Nieto Gongora, Pedrow PD, Swanson BG, Canovas Barbosa. 2004. *Use of Circuit Analysis Simulation in Pulsed Electric Fields Food Processing*. Journal of Food Engineering 61:413-420
- [13] Ratna, Ikaputri. 2007. *Aplikasi Mikrokontroller Pada Pembangkit Pulsa Tegangan Tinggi 20 kV pada Pasteurisasi Susu*. Politeknik Negeri Malang. Tidak Dipublikasikan.
- [14] Ribiero WM, Noci, DA, Cronin. 2008. *Reduction of Staphylococcus aureus and Quality Change in Apple Juice Processed By Ultraviolet Irradiation, Pre-heating and Pulse Electric Field*. Journal of Food Engineering 89 :267-273
- [15] Van Heesch Bert, Pemen Guus AJM, Huijbrechts Paul. 2004. *A Fast Pulsed Power Source, Applied to Treatment of Conducting Liquids*. Submitted to IEEE Transaction on Plasma Science.